

PENGARUH MEDAN MAGNET TERHADAP PROSES PRESIPITASI CaCO_3 DALAM AIR SADAH

Nelson Saksono¹, Setijo Bismo¹, Elsa Krisanti¹, Azwar Manaf², dan Roekmijati Widaningrum¹

1. Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

2. Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Indonesia, Depok 16424, Indonesia

E-mail: nelson@che.ui.edu

Abstrak

Magnetisasi air sadah yang bertujuan menurunkan kesadahan air merupakan proses fisik guna mencegah terbentuknya kerak (CaCO_3) pada sistem perpipaan. Campuran larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 digunakan sebagai model air sadah sintetik guna mengamati pengaruh medan magnet terhadap pembentukan partikel CaCO_3 dalam air sadah. Variabel proses meliputi waktu magnetisasi, kuat medan, dan konsentrasi larutan, sementara parameter yang akan diamati adalah jumlah deposit CaCO_3 , jumlah presipitasi total CaCO_3 , dan morfologi deposit CaCO_3 . Perbandingan parameter pengamatan dilakukan terhadap sampel yang dimagnetisasi dan sampel non-magnetisasi. Hasil percobaan menunjukkan adanya peningkatan laju pembentukan deposit dan presipitasi total CaCO_3 pada sampel yang dimagnetisasi dibanding sampel non-magnetisasi. Peningkatan konsentrasi sampel larutan juga meningkatkan persentase kenaikan deposit yang terbentuk dengan adanya pengaruh medan magnet. Hasil foto mikroskop menunjukkan jumlah partikel CaCO_3 yang terbentuk pada sampel yang dimagnetisasi lebih banyak dan ukuran partikelnya lebih kecil dan disertai adanya pembentukan agregat. Hasil uji XRD menunjukkan hanya kristal kalsit yang dominan. Namun demikian, terlihat adanya penurunan intensitas puncak kalsit yang cukup signifikan pada sampel yang dimagnetisasi yang menunjukkan adanya penurunan jumlah kristal kalsit dan peningkatan jumlah amorf pada deposit CaCO_3 yang terbentuk. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa proses magnetisasi air sadah mendorong terjadinya penurunan ion Ca^{2+} dalam larutan akibat adanya peningkatan proses presipitasi total CaCO_3 .

Abstract

Magnetic Field Effects on CaCO_3 Precipitation Process in Hard Water. Magnetic treatment is applied as physical water treatment for scale prevention especially CaCO_3 , from hard water in piping equipment by reducing its hardness. Na_2CO_3 and CaCl_2 solution sample was used in to investigate the magnetic fields influence on the formation of particle of CaCO_3 . By changing the strength of magnetic fields, exposure time and concentration of samples solution, this study presents quantitative results of total scale deposit, total precipitated CaCO_3 and morphology of the deposit. This research was run by comparing magnetically and non-magnetically treated samples. The results showed an increase of deposits formation rate and total number of precipitated CaCO_3 of magnetically treated samples. The increase of concentration solution sample will also raised the deposit under magnetic field. Microscope images showed a greater number but smaller size of CaCO_3 deposits form in magnetically treated samples, and aggregation during the processes. X-ray diffraction (XRD) analysis showed that magnetically samples were dominated by calcite. But, there was a significant decrease of calcite's peak intensities from magnetized samples that indicated the decrease of the amount of calcite and an increase of total amorphous of deposits. This result showed that magnetization of hard water led to the decreasing of ion Ca^{2+} due to the increasing of total CaCO_3 precipitation process.

Keywords: Magnetic treatment, hard water, calcium carbonate precipitation, CaCO_3 deposit morphology

1. Pendahuluan

Pembentukan kerak pada dinding pipa dan unit-unit operasi akibat kesadahan air yang tinggi merupakan

masalah serius yang sering dijumpai di dalam industri. Pada umumnya, deposit kerak tersebut tersusun dari senyawa-senyawa yang kelarutannya rendah, seperti kalsium karbonat (CaCO_3).

Saat ini pengolahan air sadah untuk pencegahan pembentukan kerak umumnya dilakukan secara kimiawi yaitu dengan resin penukar ion dan penambahan inhibitor kerak. Metode secara kimiawi ini dapat mengubah sifat kimia larutan sehingga tidak cukup aman untuk penggunaan rumah tangga maupun industri makanan dan minuman. Selain itu investasinya yang cukup besar menyebabkan proses-proses kimiawi tersebut hanya cocok untuk industri yang memerlukan air olahan dalam jumlah besar. Pemanfaatan medan magnet untuk menurunkan kesadahan air merupakan metode yang menjanjikan mengingat prosesnya sederhana dan tidak mengubah sifat-sifat kimia air [1]. Namun, hingga saat ini para peneliti masih terus menyelidiki tentang bagaimana sesungguhnya fenomena presipitasi CaCO_3 pada air sadah dengan adanya pengaruh medan magnet.

Model larutan air sadah yang banyak digunakan oleh para peneliti untuk melihat proses pembentukan partikel CaCO_3 adalah campuran larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 . Persamaan reaksinya dapat ditulis pada persamaan (1) :

$$\text{Na}_2\text{CO}_{3(\text{aq})} + \text{CaCl}_{2(\text{aq})} \rightarrow \text{CaCO}_{3(\text{s})} + 2\text{NaCl}_{(\text{aq})} \quad (1)$$

Wang *et al.* [2] melakukan magnetisasi pada campuran larutan Na_2CO_3 dan CaCl_2 dengan mengamati turbiditas larutan saat presipitasi. Wang [2] mendapatkan bahwa saat magnetisasi terjadi peningkatan nukleasi CaCO_3 dan terbentuk partikel CaCO_3 yang lebih banyak dengan ukuran partikel yang lebih kecil dibanding sampel non-magnetisasi.

Wang *et al.* [3] dalam penelitian sebelumnya telah berhasil membuktikan bahwa induksi medan magnet pada sistem koloid yang mengandung partikel mineral dengan kemagnetan lemah seperti CaCO_3 ($\chi = -4 \times 10^{-7} \text{ Vs/m}^2$) dapat menyebabkan gaya tarik menarik antar partikel. Gabrielli *et al.* [4] menggunakan model larutan CaCO_3 dan sistem aliran sirkulasi mendapatkan adanya peningkatan laju presipitasi CaCO_3 di fasa larutan selama proses magnetisasi. Presipitasi partikel CaCO_3 dapat terjadi di fasa larutan dan di fasa permukaan berupa deposit. Total presipitasi CaCO_3 merupakan gabungan presipitasi dari kedua fase tersebut.

Morfologi partikel CaCO_3 yang terbentuk dapat berupa amorf dan juga polimorf berupa kristal kalsit, aragonit dan vaterit. Kristal kalsit merupakan kristal yang paling banyak dijumpai pada kerak CaCO_3 , dan bersifat menempel kuat di permukaan (*hard scale*). Aragonit dijumpai sebagai kerak CaCO_3 yang mudah terlepas dari dinding (*soft scale*), sedangkan vaterite bersifat tidak stabil dan bertransformasi lanjut menjadi kalsit [5]. Knez *et al.* [6] dan Kobe *et al.* [7] dengan memakai larutan CaCO_3 dan kuat medan magnet di atas 1 T mendapatkan adanya peningkatan aragonit pada fasa larutan. Chibowski *et al.* [8] dengan memakai larutan

Na_2CO_3 dan CaCl_2 tidak mendapatkan peningkatan jumlah aragonit yang signifikan di larutan.

Pengamatan morfologi kristal CaCO_3 yang terbentuk di permukaan di bawah pengaruh medan magnet menjadi penting mengingat Kerak adalah partikel CaCO_3 yang terbentuk di dinding pipa (deposit) .

Tujuan studi ini adalah mengkaji fenomena presipitasi CaCO_3 baik di fasa larutan maupun di permukaan di bawah pengaruh medan magnet. Morfologi deposit CaCO_3 yang terbentuk sebagai hasil presipitasi juga akan diselidiki guna mendapatkan pemahaman yang lebih baik terhadap fenomena ini.

2. Eksperimental

2.1 Larutan sampel

Larutan CaCl_2 dan Na_2CO_3 dibuat dengan melarutkan padatan CaCl_2 dan Na_2CO_3 p.a grade (Merck) dengan air demin (resistivity $\approx 18 \text{ M}\Omega$) untuk menghasilkan larutan Na_2CO_3 dengan konsentrasi 0,005 M, 0,010 M, 0,015 M, dan 0,020 M. Demikian juga untuk larutan CaCl_2 .

2.2 Medan Magnet

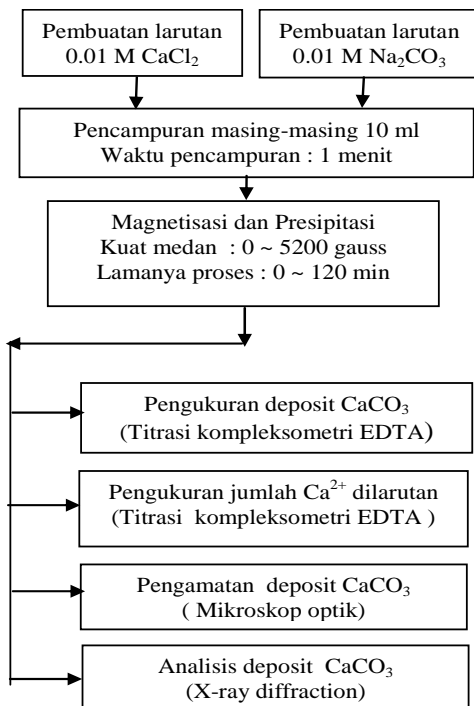
Medan magnet statik dihasilkan dari sepasang magnet permanen berbasis Neodymium yang diletakkan pada rangka aluminium dengan jarak antar kutub-kutubnya 15 mm. Kuat medan di tengah-tengah dua kutub tersebut dihasilkan sebesar 5200 Gauss menggunakan alat ukur Gaussmeter (Hirst GM 04). Dimensi setiap keping magnet adalah 100 x 15 x 20 mm. Kuat medan magnet induksi divariasikan dengan mengatur jarak antar magnet sehingga didapat kuat medan sebesar 5200, 4000, dan 2000 Gauss.

2.3 Prosedur Percobaan

Skema prosedur percobaan dapat dilihat pada Gambar 1. Larutan 0,01 M Na_2CO_3 dan 0,001 M CaCl_2 masing-masing 10 ml dicampur dalam tabung reaksi gelas (15 mm OD x 140 mm H) selama satu menit dan dilanjutkan dengan magnetisasi . Suhu larutan dianggap sama dengan suhu kamar yaitu 28 – 29 °C.

Setelah proses magnetisasi dan presipitasi, larutan dalam tabung reaksi dikeluarkan untuk diukur kandungan ion Ca^{2+} dengan titrasi EDTA. Deposit yang tertinggal pada dinding tabung reaksi dilarutkan dengan HCl 0,1 M dan dititrasi dengan EDTA untuk mengukur jumlah depositnya (akurasi $\approx 0.1 \text{ mg}$ sebagai CaCO_3).

Sampel pengamatan deposit CaCO_3 untuk mikroskop optik dan XRD dibuat dengan mencelupkan kaca preparat ke dalam larutan sampel secara vertikal. Hal ini bertujuan agar CaCO_3 yang terbentuk pada permukaan kaca hanya deposit CaCO_3 (*direct adhesion*) dan bukan



Gambar 1. Prosedur percobaan

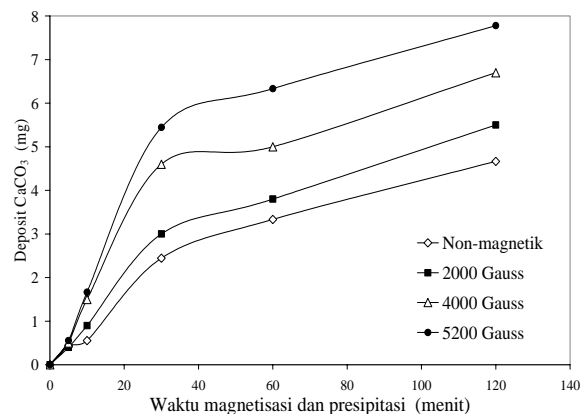
dari pengendapan CaCO_3 yang terbentuk dari larutan. Objek pada kaca preparat akan diperbesar menggunakan mikroskop optik (Olympus HM 20) yang dilengkapi kamera untuk mendapatkan gambar foto. Kaca preparat lainnya akan digunakan untuk menganalisis struktur kristal deposit menggunakan X-RD Philips PW 1710 dengan Ni-filtered Cu K α radiation ($\lambda = 0.154184 \text{ nm}$) pada 40 kV dan 30 mA, harga 2θ dipindai pada rentang $20 - 60^\circ$ dengan interval step 0.01° dan lama per step 1 detik.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Efek magnetisasi pada pembentukan deposit CaCO_3 dan presipitasi total CaCO_3

Presipitasi total CaCO_3 pada air sadah merupakan gabungan presipitasi CaCO_3 di larutan dan di permukaan (deposit). Jumlah deposit CaCO_3 dan total presipitasi CaCO_3 merupakan parameter yang diukur langsung dalam percobaan ini, sedangkan jumlah partikel CaCO_3 yang terbentuk di larutan dapat dihitung dengan menggunakan neraca massa.

Gambar 2 menunjukkan karakteristik pembentukan deposit CaCO_3 yang memperlihatkan terjadi peningkatan jumlah deposit CaCO_3 dengan bertambahnya waktu presipitasi. Terjadi peningkatan laju pembentukan deposit CaCO_3 pada 30 menit pertama presipitasi dengan meningkatnya kuat medan.

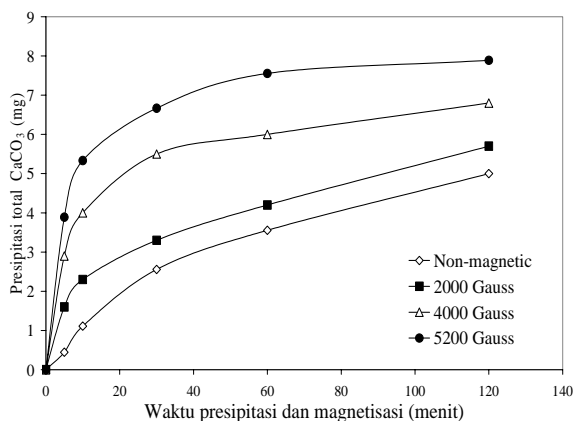


Gambar 2. Jumlah deposit CaCO_3 fungsi waktu magnetisasi dan presipitasi pada berbagai kuat medan.

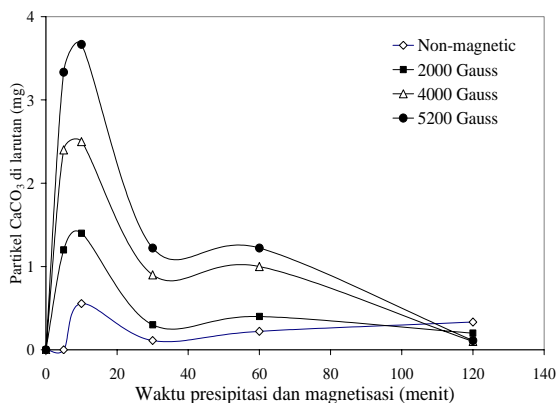
Laju pembentukan deposit CaCO_3 setelah 30 menit presipitasi menunjukkan harga yang konstan meskipun proses magnetisasi terus dilakukan. Hal ini menunjukkan efek magnetisasi signifikan terlihat pada 30 menit pertama presipitasi.

Gambar 3 menunjukkan pengaruh magnetisasi terhadap presipitasi total CaCO_3 . Terjadi peningkatan laju presipitasi CaCO_3 dengan meningkatnya kuat medan pada 10 menit pertama presipitasi. Laju total presipitasi setelah 10 menit menunjukkan harga yang relatif sama untuk semua kuat medan meskipun magnetisasi terus dilakukan. Hal ini menunjukkan efek magnetisasi dominan terjadi pada 10 menit pertama presipitasi. Hal ini disebabkan pada tahap awal presipitasi total CaCO_3 lebih didominasi fasa larutan seperti yang terlihat pada Gambar 4 dan kontribusinya semakin kecil dengan semakin berkurangnya ion Ca^{2+} di larutan.

Gambar 4 menunjukkan hasil perhitungan jumlah partikel CaCO_3 di larutan. Terjadi peningkatan jumlah partikel CaCO_3 pada 10 menit pertama presipitasi dengan meningkatnya kuat medan. Selanjutnya, terjadi penurunan jumlah partikel CaCO_3 di larutan yang menunjukkan terjadinya transformasi partikel di larutan menjadi endapan dan deposit. Hasil ini sesuai dengan percobaan yang dilakukan oleh Barret et al. [9] dan Higashitani *et al.* [10] yang mendapatkan puncak presipitasi CaCO_3 dilarutan terjadi disekitar 9 menit pertama presipitasi. Adanya transformasi partikel di larutan menjadi endapan dan deposit setelah 10 menit presipitasi menyebabkan peningkatan laju deposit CaCO_3 masih terjadi hingga 30 menit presipitasi. Penambahan jumlah presipitasi total CaCO_3 setelah 30 menit presipitasi lebih didominasi oleh presipitasi permukaan. Hal ini disebabkan kemampuan presipitasi CaCO_3 di permukaan tetap tinggi meskipun pada konsentrasi ion Ca^{2+} di larutan rendah [11].



Gambar 3. Presipitasi total CaCO_3 fungsi waktu presipitasi dan magnetisasi pada berbagai kuat medan



Gambar 4. Jumlah partikel CaCO_3 dilarutan fungsi waktu magnetisasi dan presipitasi pada berbagai kuat medan

3.2. Pengaruh konsentrasi larutan terhadap pembentukan deposit CaCO_3 .

Pada percobaan ini dilakukan variasi konsentrasi larutan NaCO_3 dan CaCl_2 untuk melihat pengaruh kesadahan (konsentrasi ion Ca^{2+}) larutan sampel terhadap jumlah deposit yang terbentuk dibawah pengaruh medan magnet. Tabel 1 menunjukkan terjadi peningkatan jumlah deposit CaCO_3 yang terbentuk untuk semua konsentrasi sampel larutan dengan adanya medan magnet. Selain itu terjadi peningkatan persentase kenaikan deposit CaCO_3 dengan makin tingginya konsentrasi larutan.

Hal ini sesuai dengan hasil penelitian Wang [3] yang mengatakan bahwa interaksi antar partikel dalam medan magnet akan semakin besar dengan semakin kecilnya jarak antar partikel (konsentrasi partikel makin besar) dan makin besarnya ukuran partikel, dimana hal tersebut ditunjukkan dengan makin banyaknya deposit yang terbentuk.

Tabel 1. Jumlah deposit CaCO_3 yang terbentuk pada berbagai konsentrasi larutan dengan kuat medan 5200 Gauss dan waktu presipitasi 120 menit.

Konsentrasi larutan NaCO_3 & CaCl_2 [M]	Deposit CaCO_3 (mg)		Persentase Kenaikan deposit (%)
	Non magnetik	Magnetik	
0.005	2.0	3.1	53
0.01	4.7	7.8	64
0.015	5.9	9.7	66
0.02	7.0	11.7	67

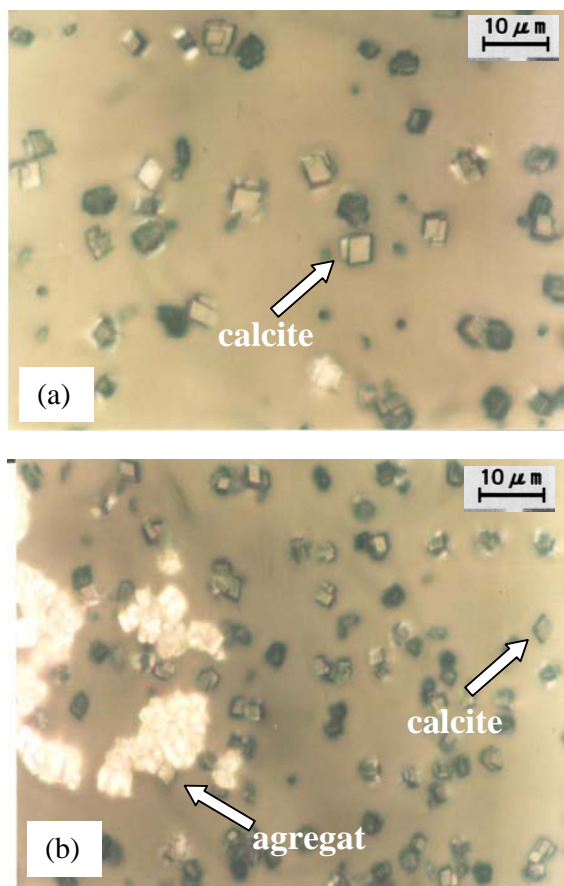
3.3 Morfologi Deposit CaCO_3

Hasil analisis foto mikroskop (Gambar 5) deposit CaCO_3 menunjukkan terjadi peningkatan jumlah partikel CaCO_3 pada sampel yang dimagnetisasi dibanding sampel non-magnetik. Ukuran partikel CaCO_3 pada deposit sampel yang dimagnetisasi terlihat lebih kecil dibanding sampel non-magnetik sebagaimana yang juga diamati oleh Wang Y *et al.* [2]. Gambar 5(a) menunjukkan terjadi pembentukan kristal kalsit untuk deposit sampel non-magnetik yang ditandai adanya partikel berbentuk kubus dengan densitas tinggi [10]. Gambar 5(b) menunjukkan karakteristik deposit sampel yang dimagnetisasi. Terlihat adanya kristal kalsit yang disertai terbentuknya agregat dari partikel CaCO_3 . Hasil uji foto ini secara umum mendukung hasil uji deposit dan presipitasi total CaCO_3 yang menunjukkan bahwa proses magnetisasi menyebabkan terjadinya peningkatan presipitasi CaCO_3 , baik di fasa larutan maupun di permukaan.

Hasil analisis struktur kristal deposit dengan alat XRD dapat dilihat pada gambar 6. Terlihat bahwa hanya ada satu puncak dominan yang muncul pada sudut $2\theta = 29,53^\circ$ yang merupakan sudut pembentukan kristal kalsit. Untuk sampel non-magnetik. Pada gambar 6(a) teramati sejumlah kecil kristal vaterit pada sudut $2\theta = 26,41^\circ$.

Gambar 6(b) menunjukkan terjadinya penurunan jumlah kristal kalsit yang signifikan pada sampel termagnetisasi, yang ditandai dengan penurunan puncak kalsit dibanding sampel non-magnetik (Gambar 6(a)). Hal ini menunjukkan bahwa proses magnetisasi mendorong terbentuknya deposit yang bersifat amorf. Diduga hal ini terjadi karena adanya proses agregasi pada pembentukan deposit CaCO_3 seperti yang terlihat pada Gambar 5(b). Hasil ini sesuai dengan pengamatan oleh Abdel *et al.* [6] menggunakan XRD dan Scanning Electron Microscopy (SEM) dengan jenis larutan yang sama tanpa medan magnet.

Abdel [6] mendapatkan bahwa struktur kalsit mendominasi pembentukan kristal permukaan.

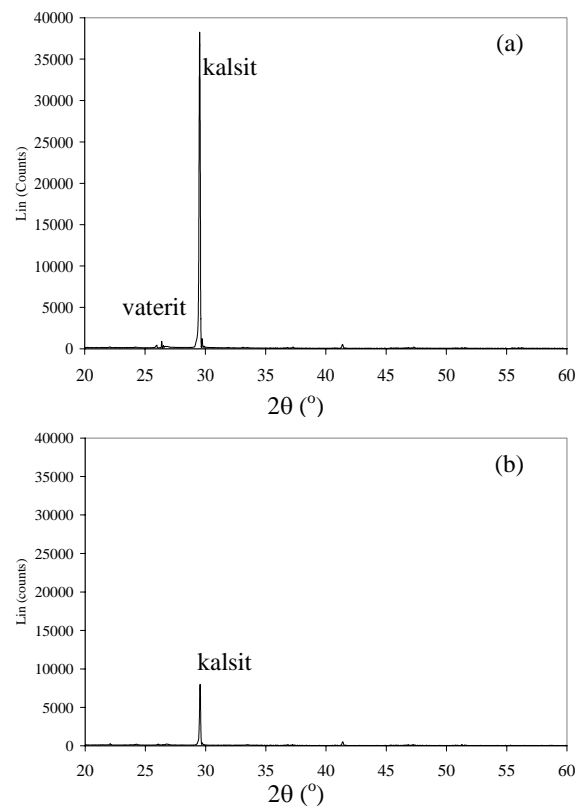


Gambar 5. Foto mikroskop deposit CaCO_3 pada presipitasi 30 menit: (a) sampel non-magnetik ; (b) sampel magnetik

Sebaliknya kristal vaterit bersifat tidak stabil dan mudah bertransformasi lanjut menjadi kristal kalsit. Kristal vaterit juga sulit tumbuh di permukaan disebabkan bentuk geometriaknya [6]. Tidak terdeteksinya aragonit pada deposit dapat disebabkan oleh *electronic ground state* kalsit lebih rendah dibanding aragonit yang berakibat ion Ca^{2+} dan CO_3^{2-} membutuhkan energi kinetik yang lebih tinggi untuk membentuk aragonit dibanding kalsit [8]. Meningkatnya komposisi amorf pada deposit CaCO_3 untuk sampel magnetik memberikan keuntungan pada peralatan magnetisasi air sadah karena partikel CaCO_3 amorf lebih mudah untuk dipisahkan dari dinding pipa.

3.4 Magnetisasi air untuk pencegahan kerak.

Magnetisasi air sadah berdasarkan percobaan ini dapat meningkatkan presipitasi CaCO_3 yang ditandai jumlah deposit CaCO_3 dan total presipitasi CaCO_3 yang lebih banyak. Dengan demikian proses magnetisasi dapat menurunkan kandungan ion Ca^{2+} di larutan yang merupakan indikator utama kesadahan air. Makin

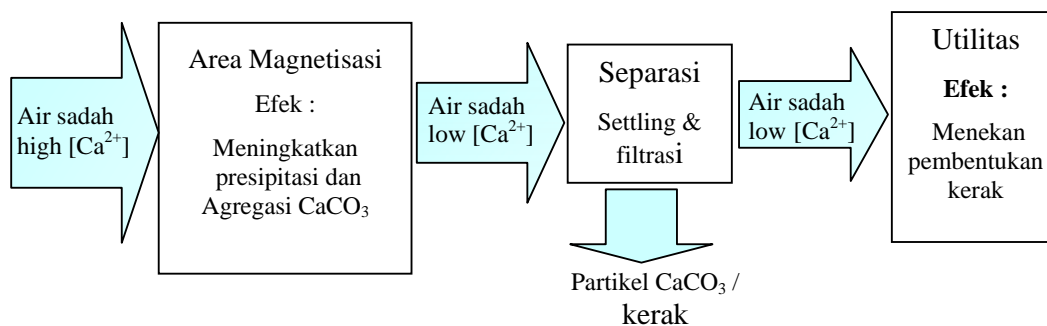


Gambar 6. Analisis XRD deposit kristal CaCO_3 pada 120 menit presipitasi: (a) sampel non-magnetik (b) sampel magnetik.

rendah kesadahan air, maka potensi pembentukan kerak (CaCO_3) semakin berkurang. Untuk itu proses magnetisasi air untuk pencegahan kerak membutuhkan perlakuan lanjut setelah air dimagnetisasi, yaitu proses separasi dengan pengendapan dan filtrasi seperti dapat dilihat pada Gambar 7.

Efektivitas dari proses magnetisasi ini adalah bagaimana menurunkan kandungan ion Ca^{2+} dilarutan sebanyak-banyaknya dengan meningkatkan laju presipitasi. Selain itu sifat amorf pada deposit partikel CaCO_3 yang terbentuk akan memudahkan pemisahan deposit CaCO_3 dari dinding pipa.

Karakteristik dan perilaku pembentukan partikel CaCO_3 (kerak) pada air sadah sesudah proses magnetisasi akan dilakukan pada penelitian selanjutnya guna mendapat jawaban yang lebih lengkap tentang pengaruh medan magnet terhadap pembentukan CaCO_3 saat magnetisasi dan sesudah magnetisasi.



Gambar 7. Sistem pengolahan air sadah dengan magnetisasi untuk pencegahan kerak

4. Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan adanya peningkatan laju presipitasi CaCO_3 yang sebanding dengan intensitas kuat medan magnet.

Peningkatan laju presipitasi total CaCO_3 terjadi pada 10 menit pertama presipitasi dan laju pembentukan deposit CaCO_3 terjadi pada 30 menit pertama presipitasi. Terjadi Peningkatan persentase kenaikan deposit dengan bertambahnya kesadahan akibat pengaruh medan magnet.

Medan magnet menyebabkan terjadinya peningkatan jumlah partikel dan penurunan ukuran partikel CaCO_3 serta terbentuknya fase agregat. Kristal deposit yang terbentuk didominasi struktur kalsit dan medan magnet mendorong terbentuknya fase amorf.

Adanya peningkatan presipitasi total dan pembentukan struktur amorf pada partikel CaCO_3 akibat medan magnet menunjukkan proses ini layak diaplikasikan untuk pengolahan air sadah.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini sebagian didanai oleh Osaka Gas Fondation – PPST-UI tahun anggaran 2005, untuk itu kami mengucapkan banyak terima kasih. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Diyah Satiti, Haris Nova, dan Fajar Ariessita atas bantuannya dalam melakukan preparasi dan pengujian sampel dan juga kepada seluruh personil Lab. Termodinamika Energi &

Lingkungan Departemen Teknik Kimia FTUI yang telah memfasilitasi terlaksananya penelitian ini.

Daftar Acuan

- [1] V. Kozic, and L. C. Lipus, J. Chem. Inf. Comput. Sci. 43 (2003) 1815-1819.
- [2] Y.Wang Babchin A. J, Chernyi L. T, Chow R. S, Sawatzky R. P, Water Research. **31** (1997) 346-350.
- [3] Y. Wang, Pugh R J, Forssberg E, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects 90 (1994) 117-133.
- [4] C. Gabrielli, R. Jaouhari, G. Maurin, M. Keddad, Water Research. 35 (2001) 3249 - 3259.
- [5] N. Abdel-Aal, K. Satoh, K. Sawada, Journal of Crystal Growth 245 (2002) 87-100.
- [6] S. Knez, Ciri Pohar, Journal of Colloid and Interface Science 281 (2005) 377-388.
- [7] S. Kobe, G. Drazic, A.C. Cefalas, E. Sarantopoulou, Crystal Engineering 5 (2002) 243-253.
- [8] E. Chibowski, E. Lucyna Hoysz, Aleksandra Szcze, Water Research 37 (2003) 4685-4692.
- [9] R. A. Barrett, S.A Parsons, Water Research. 32 (3) (1998) 609-612.
- [10] K. Higashitani, A. Kage, S. Katamura, K. Imai, K. S. Hatade, J. Colloid Interf. Sci. 156 (1993) 90-95.
- [11] Ben Amor, M., Zgolli, D., Tlili, M. M., Manzola, A.S., Desalination, 166 (2004) 79-84.